



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11234571 A**(43) Date of publication of application: **27.08.99**

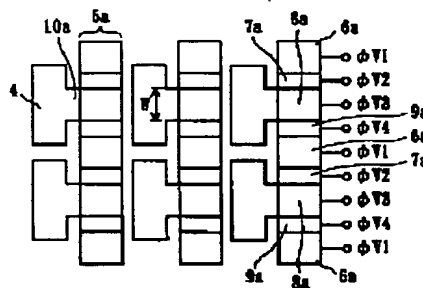
(51) Int. Cl.

H04N 5/335
H01L 27/148
(21) Application number: **10035730**(71) Applicant: **NEC CORP**(22) Date of filing: **18.02.98**(72) Inventor: **FURUMIYA MASAYUKI**
**(54) SOLID-STATE IMAGE PICKUP DEVICE AND ITS
DRIVE METHOD**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To allow the device to employ a lower power supply voltage without deteriorating its dynamic range.

SOLUTION: Each photo diode 4 is provided with four vertical transfer electrodes 6a-9a that transfer signal charges read from the photo diode 4 to a vertical CCD 5a. A sum of electrode length of two optional vertical transfer electrodes adjacent to each other in a vertical transfer direction (vertical direction in Figure) is designed to be uniform and the electrode length of every other vertical transfer electrodes is selected identical. Then the electrode length of a vertical electrode 8a acting also for transducer is selected longer than that of the two adjacent vertical transfer electrodes 7a, 9a to widen a read channel width W of a transfer gate section 11a.



COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-234571

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月27日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 N 5/335

H 0 4 N 5/335

P

H 0 1 L 27/148

H 0 1 L 27/14

B

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-35730

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月18日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 富留宮 正之

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

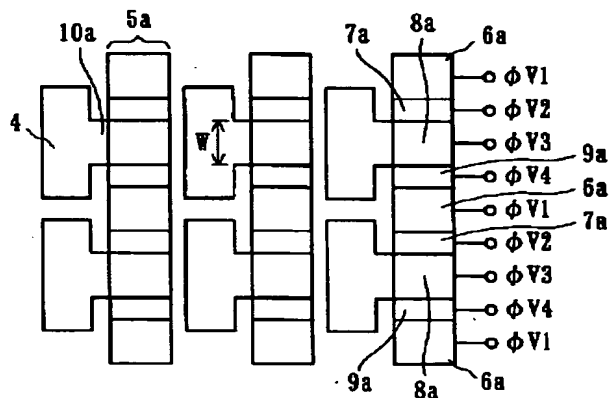
(74) 代理人 弁理士 山川 政樹

(54) 【発明の名称】 固体撮像装置とその駆動方法

(57) 【要約】

【課題】 ダイナミックレンジを低下させることなく低電圧化を図る。

【解決手段】 フォトダイオード4から垂直CCD 5aに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極6a~9aをフォトダイオード4ごとに4つ有する。垂直転送方向(図1上下方向)に隣り合う任意の2つの垂直転送電極の電極長の和を等しくし、かつ垂直転送電極の電極長を1電極おきに等しくする。そして、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8aの電極長を隣り合う2つの垂直転送電極7a, 9aの電極長よりも長くして、トランスファーゲート部11aの読み出しチャネル幅Wを広くする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、前記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCDと、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備えた固体撮像装置であって、

前記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、垂直転送方向に隣り合う任意の2つの垂直転送電極の長さの和が有効撮像領域内のどの部分でも等しく、かつ2つの前記垂直転送電極の長さが互いに異なり、かつ前記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極が2つの前記垂直転送電極のうち長い方の垂直転送電極であることを特徴とする固体撮像装置。

【請求項2】 請求項1記載の固体撮像装置において、垂直転送方向に隣り合う任意の2つの垂直転送電極のうち短い方の垂直転送電極は、垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が2つの前記垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるような長さに設定されていることを特徴とする固体撮像装置。

【請求項3】 半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、前記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCDと、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備えた固体撮像装置であって、前記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、これら垂直転送電極のうち、前記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の長さが1番長く、かつ前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極と隣り合わない垂直転送電極の長さが2番目に長いことを特徴とする固体撮像装置。

【請求項4】 半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、前記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCD

と、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備え、前記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、これら垂直転送電極のうち、前記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の長さが1番長く、かつ前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極と隣り合わない垂直転送電極の長さが2番目に長い固体撮像装置の駆動方法であって、垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が垂直転送方向に隣り合う2つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるように、前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極以外の電極に信号電荷転送時に印加するミドルレベルの電圧を、前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極に印加するミドルレベルの電圧よりも高く設定することを特徴とする固体撮像装置の駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、全画素同時読み出し方式の固体撮像装置とその駆動方法に関し、特に垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極の構造と垂直転送電極に印加すべき駆動電圧に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、固体撮像装置を用いた業務用あるいは家庭用ビデオカメラが広く普及している。これら従来の業務用あるいは家庭用ビデオカメラは、テレビジョン方式（NTSC方式やPAL方式）に対応させるため、水平信号ラインを1ラインおきに走査するインターレース方式（飛び越し走査方式）を採用していた。一方、最近ではパーソナルコンピュータ用の画像入力カメラが盛んに開発されているが、この種のカメラの水平走査方式は、高解像度静止画を得るため、およびコンピュータのディスプレイへの出力のし易さの観点から、ノンインターレース方式が採用されている。ノンインターレース方式のカメラに用いられる固体撮像装置は、全画素の信号電荷を同時に、かつ独立に読み出す必要がある。この読み出し方式は、全画素同時読み出し方式、あるいはプログレッシブスキャン方式と呼ばれている（参考文献：奥谷智雄ほか、“1/3インチ33万正方面素子”、1995年テレビジョン学会年次大会講演予稿集、93-94頁、1995年）。以下に、このような全画素同時読み出し方式の固体撮像装置について説明する。

【0003】図10は、従来の全画素同時読み出し方式インターライン型CCD固体撮像装置の平面図である。本撮像装置は、大きく分けて撮像部1、水平CCD2、

出力部（電荷検出部）3からなる。撮像部1には、光電変換し、その信号電荷を蓄積するフォトダイオード4が2次元マトリックス状に複数個配置されている。さらに、各フォトダイオード列の間には、垂直方向に信号電荷を転送する垂直CCD5が設けられている。フォトダイオード4と垂直CCD5との間には、各フォトダイオード4から垂直CCD5に信号電荷を読み出すトランスファークロ領域10が設けられている。撮像部1において、フォトダイオード4、垂直CCD5及びトランスファークロ領域10以外の部分は素子分離領域11である。

【0004】このような固体撮像装置の動作を説明する。一定期間内にフォトダイオード4で光電変換された信号電荷は、トランスファークロ領域10を介して垂直CCD5に読み出される。垂直CCD5に読み出された信号電荷は、1水平ラインずつ水平CCD2に転送される。水平CCD2に転送された信号電荷は、出力部3まで転送され検出される。図11は、図10の固体撮像装置のフォトダイオード4及び垂直CCD5を示す概略的平面図である。図11では、水平方向に3画素分、垂直方向に2画素分のみ示している。そして、図12は図11を拡大したより詳細な平面図であり、図13は図12のA-A線断面図である。

【0005】各フォトダイオード列の間には、ポリシリコンからなる垂直転送電極6、7、8、9を有する垂直CCD5が設けられている。これら4つの垂直転送電極6～9は、それぞれ各垂直CCD5にまたがって共通に、かつフォトダイオード4ごとに設けられている。そして、そのうち1つの垂直転送電極8は、フォトダイオード4から垂直CCD5に信号電荷を読み出すためのトランスファークロ領域を兼ねている。なお、図13において、半導体基板12と垂直転送電極6～9との間、及び各垂直転送電極間には、図示しない絶縁膜が形成されている。そして、垂直転送電極6、7、8、9には、4相の駆動パルスφV1、φV2、φV3、φV4がそれぞれ印加される。

【0006】次に、このような全画素同時読み出し方式の固体撮像装置の垂直CCD5の駆動方法について説明する。図14は、読み出し時とその直後の垂直転送期間に垂直転送電極6～9に印加される駆動パルスの波形図であり、図15は、図14の各時刻t0～t5における信号電荷の蓄積状態と転送の様子を示すポテンシャル図である。なお、駆動パルス電圧が高いほど、ポテンシャルは高くなる。また、図15では、図面下に向かってポテンシャルが高くなる方向で示している。逆に言えば、図面上に向かうほど電子に対するポテンシャルが高くなる。

【0007】時刻t0において、トランスファークロ領域を兼ねる垂直転送電極8にハイレベルVHの駆動パルスφV3を印加し、フォトダイオード4から垂直CCD5に

信号電荷30を読み出す。このとき、駆動パルスφV1、φV4はローレベルVL、φV2はミドルレベルVMである（ $VL < VM < VH$ ）。時刻t1では、垂直転送電極8に印加される駆動パルスφV3がミドルレベルVMとなり、駆動パルスφV2、φV3にそれぞれ対応する垂直転送電極7、8の下部にのみ信号電荷が蓄積される。時刻t2では、垂直転送電極9に印加される駆動パルスφV4がミドルレベルVMとなり、駆動パルスφV2、φV3、φV4に対応する垂直転送電極7、8、9の下部にのみ信号電荷が蓄積される。

【0008】続いて、時刻t3において垂直転送電極7に印加する駆動パルスφV2をローレベルVLにすることにより、駆動パルスφV3、φV4に対応する垂直転送電極8、9の下部にのみ信号電荷が蓄積される。さらに、時刻t4において垂直転送電極6に印加する駆動パルスφV1をミドルレベルVMにすることにより、駆動パルスφV3、φV4、φV1に対応する垂直転送電極8、9、6の下部にのみ信号電荷が蓄積される。そして、時刻t5において垂直転送電極8に印加する駆動パルスφV3をローレベルVLにすることにより、駆動パルスφV4、φV1に対応する垂直転送電極9、6の下部にのみ信号電荷が蓄積される。

【0009】このように順次駆動パルスを印加することにより、図15に示すように信号電荷が図面左方向に転送される。このような駆動パルスの印加方法をダブルクロッキング法と呼び、その特徴は転送時のいかなる状態においても常に2電極以上がミドルレベルVMになっている点である。ここで、垂直CCD5で転送できる最大の電荷量は、時刻t1、時刻t3、時刻t5のように、垂直転送方向に隣り合う2つの垂直転送電極に印加される駆動パルスのレベルがミドルレベルVMであり、その他の垂直転送電極に印加される駆動パルスのレベルがローレベルVLのときの状態で制限される。すなわち、垂直CCD5の最大転送電荷量は、垂直転送方向に隣り合う2電極分に蓄積できる電荷量で決まる。

【0010】次に、フォトダイオード4から垂直CCD5への信号電荷の読み出しについて検討する。フォトダイオード4に蓄積された信号電荷の読み出しは、トランスファークロ領域10の読み出しチャネル幅Wに依存する。すなわち、読み出しチャネル幅Wが広ければ、低い印加電圧で読み出しが完了する。一方、この読み出しチャネル幅Wが狭ければ、ナローチャネル効果によりチャネル電位が低くなる（つまり、しきい値電圧が高くなる）ため、より高い電圧をトランスファークロ領域を兼ねる垂直転送電極8に印加しなければ完全な読み出しができない。

【0011】ところで、図11のように1つのフォトダ

イオードあたり4つの垂直転送電極6~9を形成する場合、垂直転送電極を均等に分割し、垂直転送電極6~9の転送方向の電極長を全て等しくすると(図13において、 $L1=L2=L3=L4$)、この電極長は、画素寸法の約1/4になる。例えば、画素サイズを $6.7\mu\text{m}$ 角とし、電極間隔を $0.2\mu\text{m}$ とした場合、各電極長 $L1, L2, L3, L4$ は $1.475\mu\text{m}$ となる。したがって、トランスファーゲート領域10における読み出しチャンネル幅 W (=垂直転送電極8の電極長 $L3$)は、 $1.475\mu\text{m}$ 以下となる。

【0012】図16は、読み出しチャンネル幅 W に対する読み出し完了電圧の依存性を求めたシミュレーション結果を示す図である。図16から、トランスファーゲート領域10の読み出しチャンネル幅 W が $1.475\mu\text{m}$ の場合、読み出し完了電圧は 15.5V 程度と高いことが分かる。よって、製造上のバラツキ等を考慮すると、読み出しパルスの設定電圧は 17.5V 以上にしなければならない。したがって、カメラの低電圧化が難しいという問題がある。

【0013】このような読み出し完了電圧の上昇を避ける方法として、次のような方法が考えられる。図17は、トランスファーゲート領域10の読み出しチャンネル幅 W を広げたCCD固体撮像装置のフォトダイオード4及び垂直CCD5を示す概略的平面図である。図17では、水平方向に3画素分、垂直方向に2画素分のみ示している。図17に示す固体撮像装置の特徴は、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8の垂直転送方向の電極長が、それ以外の垂直転送電極の電極長よりも長いことである。これにより、トランスファーゲート領域10の読み出しチャンネル幅 W を広く確保できるため、読み出し電圧の低減を期待できる。

【0014】図18は、図17に示す電極構成を有する固体撮像装置における信号電荷の蓄積状態と転送の様子を示すポテンシャル図である。垂直CCD5の駆動方法は、図11に示す電極構成を有する固体撮像装置と同様なので省略する。この固体撮像装置の場合、トランスファー電極8を除く3つの垂直転送電極6, 7, 9の垂直転送方向の電極長は、トランスファー電極8の電極長よりも短いため、時刻 $t5$ においては電極長が短い2つの垂直転送電極6, 9の下部に電荷が蓄積された状態となる。この2電極蓄積状態で垂直CCD5の最大転送電荷量が制限されるため、図11で示した電極構成の固体撮像装置よりもダイナミックレンジが小さくなってしまいう問題がある。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】以上のように従来の固体撮像装置では、カメラの低電圧化が難しいという問題点があった。また、この低電圧化を実現するために、トランスファーゲート領域の読み出しチャンネル幅を広げた固体撮像装置では、ダイナミックレンジが小さくなって

しまうという問題点があった。本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、ダイナミックレンジ(最大転送電荷量)を低下させることなく、低電圧化を図ることができる固体撮像装置とその駆動方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、請求項1に記載のように、半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、上記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCDと、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備えた固体撮像装置であって、上記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、垂直転送方向に隣り合う任意の2つの垂直転送電極の長さの和が有効撮像領域内のどの部分でも等しく、かつ2つの上記垂直転送電極の長さが互いに異なり、かつ上記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極が2つの上記垂直転送電極のうち長い方の垂直転送電極となるようにしたものである。このように、全面素同時読み出し方式の固体撮像装置において、垂直CCD(5a)に読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極(6a~9a)を1つの光電変換素子(4)ごとに4つ設ける。そして、トランスファーゲート部(10a)を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極(8a)の垂直転送方向の長さを隣り合う2つの垂直転送電極(7a, 9a)よりも長くするため、トランスファーゲート部の読み出しチャンネル幅を広く確保でき、光電変換素子から垂直CCDに信号電荷を読み出す際の読み出し完了電圧(VH)を低くすることができる。また、垂直転送電極の電極長を1つおきに同じ長さとするることにより、最大転送電荷量の減少を防止することができるため、大きなダイナミックレンジを確保することができる。

【0017】また、請求項2に記載のように、垂直転送方向に隣り合う任意の2つの垂直転送電極のうち短い方の垂直転送電極は、垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が2つの上記垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるような長さに設定されたものである。このように、隣り合う任意の2つの垂直転送電極のうち短い方の垂直転送電極の長さを、垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が2つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるように設定することにより、最大転送電荷量を低下させることなく読み出し完了電圧の低減を

図ることができる。

【0018】また、本発明は、請求項3に記載のように、半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、上記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCDと、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備えた固体撮像装置であって、上記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、これら垂直転送電極のうち、上記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の長さが1番長く、かつ上記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極と隣り合わない垂直転送電極の長さが2番目に長くなるようにしたものである。このように、4つの垂直転送電極(6b~9b)のうち、トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極(8b)の垂直転送方向の長さを1番長くすることにより、読み出し完了電圧を更に低くすることができる。

【0019】また、本発明は、請求項4に記載のように、半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、前記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCDと、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備え、前記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、これら垂直転送電極のうち、前記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の長さが1番長く、かつ前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極と隣り合わない垂直転送電極の長さが2番目に長い固体撮像装置の駆動方法であって、垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が垂直転送方向に隣り合う2つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるように、前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極以外の電極に信号電荷転送時に印加するミドルレベルの電圧を、前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極に印加するミドルレベルの電圧よりも高く設定したものである。1つの光電変換素子に対する4つの垂直転送電極に関して、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極(8b)の垂直転送方向の長さを1番長くすると、

これ以外の垂直転送電極(6b, 7b, 9b)の長さが短くなってしまう。そこで、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極と隣り合わない垂直転送電極(6b)の長さを2番目に長くし、さらにトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極以外の電極に信号電荷転送時に印加するミドルレベル(VM1)の電圧を、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極に印加するミドルレベルの電圧(VM2)よりも高くすることにより、垂直最大転送電荷量の減少を防止できる。

【0020】

【発明の実施の形態】[実施の形態の1]次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明の第1の実施の形態となるCCD固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す概略的平面図である。図1では、水平方向に3画素分、垂直方向に2画素分のみ示している。

【0021】本実施の形態においても、図1に示すフォトダイオード4、垂直CCD5a、垂直転送電極6a~9a及びトランスファーゲート部10a以外に、撮像部、水平CCD、電荷検出部を有し、固体撮像装置としての全体の構成は図10と同様である。

【0022】図2は図1を拡大したより詳細な平面図、図3は図2のA-A線断面図、図4は図2のB-B線断面図である。なお、図2では、後述する絶縁膜及び遮光膜を省略しており、図3では、後述するN型半導体基板12と垂直転送電極6a~9aとの間、および各垂直転送電極間の絶縁膜を省略している。本実施の形態の固体撮像装置では、N型半導体基板12上にP型ウェル13が形成されている。そして、このP型ウェル13上に2次元マトリックス状に配列されたN型半導体からなるフォトダイオード(光電変換素子)4が形成されている。

【0023】各フォトダイオード列の間には、N型半導体からなる垂直CCD5aが設けられている。11aはP⁺型半導体からなる素子分離領域である。そして、半導体基板12上のP型ウェル13のうち素子分離領域11aが設けられていない部分がトランスファーゲート部10aとなる。このような構造の上にポリシリコンからなる垂直転送電極6a, 7a, 8a, 9aが設けられている。

【0024】これら4つの垂直転送電極6a~9aは、それぞれ各垂直CCD5aにまたがって共通に、かつフォトダイオード4ごとに設けられている。そして、そのうち1つの垂直転送電極8aは、フォトダイオード4から垂直CCD5aに信号電荷を読み出すためのトランスファー電極を兼ねている。

【0025】図3に示すように、半導体基板12上には絶縁膜(図4の絶縁膜14)が形成され、この絶縁膜上にポリシリコンからなる垂直転送電極6aが形成されている。垂直転送電極6a上には絶縁膜(不図示)が形成され、この絶縁膜上に垂直転送電極6aの一部を覆う

ようにポリシリコンからなる垂直転送電極7a, 9aが形成されている。さらに、垂直転送電極7a, 9a上には絶縁膜(不図示)が形成され、この絶縁膜上に垂直転送電極6a, 7a, 9aの一部を覆うようにポリシリコンからなる垂直転送電極8aが形成されている。

【0026】このような構造を覆うように絶縁膜が形成された後、フォトダイオード4以外の部分を覆うように遮光膜15が形成される。垂直転送電極6a, 7a, 8a, 9aには、A1等の配線を介して位相の異なる4相の駆動パルス $\phi V1$, $\phi V2$, $\phi V3$, $\phi V4$ がそれぞれ供給され、全面素同時読み出し方式の固体撮像装置として機能する。

【0027】本実施の形態のCCD固体撮像素子の特徴は、垂直転送方向(図1、図2上下方向)に隣り合う任意の2つの垂直転送電極の電極長の和が有効撮像領域(図10に示す撮像部1)内のどの部分でも等しく、かつ2つの前記垂直転送電極の電極長が互いに異なり、かつ垂直転送電極の電極長が1電極おきに等しく、そしてトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8aの電極長L3が垂直転送方向で隣り合う2つの垂直転送電極7a, 9aの電極長L2, L4よりも長いことである。

【0028】つまり、垂直転送電極6a~9aは、その電極長が長, 短, 長, 短...の順になるように形成される。なお、垂直転送電極6a~9aの電極長とは、垂直転送方向の電極長であり、垂直転送方向の電極長とは、図3のL1~L4で示すように、絶縁膜(図3では不図示)を挟んで半導体基板12と対向する部分の電極の長さを言う。以上のような電極構造にすることにより、トランスファー電極8aの電極長L3を1.8 μm 程度まで長くすることができる。

【0029】図16のシミュレーション結果より、トランスファーゲート部10aの読み出しチャネル幅W(=垂直転送電極8aの電極長L3)が1.8 μm の場合の読み出し完了電圧は約1.3Vである。よって、製造上のバラツキを考慮しても、最低1.5Vでフォトダイオード4の読み出しが完了することが分かる。

【0030】このように本実施の形態によれば、図11に示す従来の固体撮像装置よりも読み出し完了電圧(駆動パルスのハイレベルVH)を低くすることができる。1.5Vの電源は一般的なビデオカメラなどで使用されているので、このような読み出し完了電圧の低減メリットは大きい。

【0031】本実施の形態の固体撮像装置における垂直CCD5aの駆動方法は図11に示す従来例と同様である。すなわち、図14、図15を用いて説明すると、時刻t0において、トランスファー電極を兼ねる垂直転送電極8aにハイレベルVHの駆動パルス $\phi V3$ を印加し、フォトダイオード4から垂直CCD5aに信号電荷30を読み出す。このとき、駆動パルス $\phi V1$, $\phi V4$ はローレベルVL、 $\phi V2$ はミドルレベルVMである

(VL<VM<VH)。

【0032】時刻t1では、垂直転送電極8aに印加される駆動パルス $\phi V3$ がミドルレベルVMとなり、駆動パルス $\phi V2$, $\phi V3$ にそれぞれ対応する垂直転送電極7a, 8aの下部にのみ信号電荷が蓄積される。時刻t2では、垂直転送電極9aに印加される駆動パルス $\phi V4$ がミドルレベルVMとなり、駆動パルス $\phi V2$, $\phi V3$, $\phi V4$ に対応する垂直転送電極7a, 8a, 9aの下部にのみ信号電荷が蓄積される。

【0033】続いて、時刻t3において垂直転送電極7aに印加する駆動パルス $\phi V2$ をローレベルVLにすることにより、駆動パルス $\phi V3$, $\phi V4$ に対応する垂直転送電極8a, 9aの下部にのみ信号電荷が蓄積される。さらに、時刻t4において垂直転送電極6aに印加する駆動パルス $\phi V1$ をミドルレベルVMにすることにより、駆動パルス $\phi V3$, $\phi V4$, $\phi V1$ に対応する垂直転送電極8a, 9a, 6aの下部にのみ信号電荷が蓄積される。

【0034】そして、時刻t5において垂直転送電極8aに印加する駆動パルス $\phi V3$ をローレベルVLにすることにより、駆動パルス $\phi V4$, $\phi V1$ に対応する垂直転送電極9a, 6aの下部にのみ信号電荷が蓄積される。このように順次駆動パルスを印加することにより、信号電荷が垂直方向に転送される。

【0035】本実施の形態の固体撮像装置では、トランスファー電極を兼ねる垂直転送電極8aの電極長L3を延ばしたことに加え、垂直転送電極6a~9aの電極長を1電極おきに等しくしている。

【0036】前述したように、垂直CCD5aの最大転送電荷量は隣り合う2電極分に蓄積できる電荷量で決まる。ここで注目すべきは、垂直転送電極6a~9aの電極長が長, 短, 長, 短...の繰り返しであるため、垂直転送方向に隣り合う任意の2つの垂直転送電極の電極長の和が常に等しいことである。これにより、4つの垂直転送電極6~9の電極長が全て等しい図11の従来例と同じ量の電荷量を蓄積できるため、十分なダイナミックレンジを確保することができる。

【0037】ところで、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8aの電極長L3を長くしすぎると、そのしわ寄せとして、電極8aに隣り合う垂直転送電極7a, 9aの電極長L2, L4が極端に短くなることは明らかである。そこで、電極長の短縮限界について考察する。

【0038】ここでは、ローレベルVLの駆動パルスが印加されている垂直転送電極下部のチャネル電位と、ミドルレベルVMの駆動パルスが印加されている垂直転送電極下部のチャネル電位との差をポテンシャルバリアと定義する。また、ローレベルVLの駆動パルスが印加されている垂直転送電極の電極長をLとする。

【0039】図5は、電極長Lに対するポテンシャルバ

リアの依存性を求めたシミュレーション結果を示す図である。ローレベルVLの駆動パルスが印加されている垂直転送電極の電極長Lが短くなり、チャンネル長が短くなると、ショートチャンネル効果により、ポテンシャルバリアが徐々に小さくなっていくのが分かる。

【0040】図6は、本実施の形態の固体撮像装置における垂直転送電極の短縮限界を説明するための図である。ここで、図6(b)、図6(c)は、それぞれ図14、図15における時刻t3、t4の電荷蓄積状態を示している。また、垂直転送方向に隣り合う2つの垂直転送電極の電極長の和をL5、これら垂直転送電極のうち短い方の電極長をL6とし(L2, L4=L6)、時刻t3、t4のときのポテンシャルバリアをそれぞれH1、H2とする。なお、図6では、図面下に向かってポテンシャルが高くなる方向で示している。逆に言えば、図面上に向かうほど電子に対するポテンシャルが高くなる。

【0041】最大転送電荷量は、ポテンシャルバリアの高さと蓄積可能なチャンネル長(ここでは、ミドルレベルVMの駆動パルスが印加されている連続した電極長の和)の積におよそ比例すると考えられる。比例係数をkとすると、時刻t3における最大転送電荷量Q1は $k \times H1 \times L5$ となり、時刻t4における最大転送電荷量Q2は $k \times H2 \times (2L5 - L6)$ となる。

【0042】本実施の形態の固体撮像装置では、垂直転送方向に隣り合う2つの垂直転送電極の電極長の和は常に同じであるため、図6(b)に示す時刻t3のような2電極蓄積状態のとき、ローレベルVLの駆動パルスが印加されている垂直転送電極の電極長の和もL5である。この値は長、短2つの電極の電極長比率が変わったとしても変化しないので、図5から分かるように、ポテンシャルバリアH1は常に一定値となる。したがって、最大転送電荷量Q1も常に一定値となる。

【0043】一方、図6(c)に示す時刻t4のような3電極蓄積状態のときには、最大転送電荷量Q2は電極長L6に依存する。図5から明らかなように、電極長L6が短くなるとポテンシャルバリアH2が減少し、特にL6が短いほど急激に減少する。電極長L6が短くなれば、蓄積可能なチャンネル長(2L5-L6)は大きくなるが、その増加率に比べてポテンシャルバリアH2の減少率が大きければ、最大転送電荷量Q2は減少する。したがって、十分な最大転送電荷量を確保するためには、電極長L2を $Q1 \leq Q2$ を満たす範囲に設定する必要がある。

【0044】なお、従来は垂直転送電極の電極長を長くしすぎると、転送方向のフリンジ電界が弱まり転送効率が悪化する場合があり、むやみに電極長を長くすることができなかった。しかし、最近では画素寸法がかなり縮小されており、1電極あたりの電極長が2μm程度以下であればそれほどフリンジ電界が弱まることなく、数十

kHz程度の転送周波数であれば何ら問題無い。

【0045】[実施の形態の2]図7は、本発明の第2の実施の形態となるCCD固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す概略的平面図である。図7では、水平方向に3画素分、垂直方向に2画素分のみ示している。画素の構成は、実施の形態の1とほぼ同様である。

【0046】すなわち、本実施の形態の固体撮像装置では、実施の形態の1と同様に、各フォトダイオード列の間に、ポリシリコンからなる垂直転送電極6b、7b、8b、9bを有する垂直CCD5bが設けられている。これら4つの垂直転送電極6b~9bは、それぞれ各垂直CCD5bにまたがって共通に、かつフォトダイオード4ごとに設けられている。そして、そのうち1つの垂直転送電極8bがトランスファー電極を兼ねている。これら垂直転送電極6b~9bの断面構造は、図3、図4に示した実施の形態の1の撮像装置の構造と同様である。

【0047】本実施の形態の固体撮像装置の特徴は、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8bの電極長が1番長く、かつ垂直転送電極8bと直接隣り合わない垂直転送電極6bの電極長が2番目に長いことである。これにより、本実施の形態の固体撮像装置では、実施の形態の1の固体撮像装置に比べ、トランスファー電極8bの電極長を2.0μm以上に長くすることができる。

【0048】図16のシミュレーション結果より、トランスファーゲート部10bの読み出しチャンネル幅W(=垂直転送電極8bの電極長)が2.0μmの場合の読み出し完了電圧は約12Vである。よって、製造上のバラツキを考慮しても、最低14Vでフォトダイオード4の読み出しが完了することが分かる。このように本実施の形態によれば、実施の形態の1に比べて、読み出し電圧低減効果をさらに高くすることができる。

【0049】ところで、実施の形態の1において説明したように、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8bの電極長を長くしすぎると、そのしわ寄せとしてその他の垂直転送電極の電極長が極端に短くなってしまふ。そのために転送電荷量が小さくなってしまふことが考えられる。

【0050】そこで、本実施の形態では、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8b以外の垂直転送電極6b、7b、9bに印加される駆動パルスφV1、φV2、φV4のミドルレベル(VM1とする)を、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8bに印加される駆動パルスφV3のミドルレベル(VM2とする)よりも高く設定する。

【0051】トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極8bは、トランスファーゲート部10bのしきい値制御を行っているため、読み出し時のハイレベルVHを

印加する以外はミドルレベルVM2を一定値以上にできない。このミドルレベルVM2を一定値以上に上げてしまうと、信号電荷転送時にフォトダイオード4から垂直CCD5bに電荷が読み出され始めてしまうからである。

【0052】一方、トランスファー電極8b以外の垂直転送電極6b、7b、9bに印加される駆動パルス $\phi V1$ 、 $\phi V2$ 、 $\phi V4$ のミドルレベルVM1の値は、ある程度高くても支障がない。というのは、垂直転送電極6b、7b、9bの左右の部分は実施の形態の1と同様に素子分離領域に囲まれているため、ある程度電圧を上げてもフォトダイオード4から垂直CCD5bに電荷が読み出されることはないからである。

【0053】すなわち、これらの垂直転送電極6b、7b、9bに印加するミドルレベルVM1は、素子分離領域のしきい値程度までには電圧を上げることができる。このミドルレベルVM1は、明らかに、トランスファー電極8bに印加することのできるミドルレベルVM2に比べて高い。

【0054】図8は、以上のような電圧設定に従って読み出し時とその直後の垂直転送期間に垂直転送電極6b～9bに印加される駆動パルスの波形図であり、図9は、図8の各時刻 $t0-t5$ における信号電荷の蓄積状態と転送の様子を示すポテンシャル図である。

【0055】トランスファー電極を兼ねる垂直転送電極8bに印加される駆動パルス $\phi V3$ のミドルレベルをVM2とし、それ以外の垂直転送電極6b、7b、9bに印加される駆動パルス $\phi V1$ 、 $\phi V2$ 、 $\phi V4$ のミドルレベルをVM1とする。ここで、 $VM1 > VM2$ である。

【0056】本実施の形態の固体撮像装置における短い方の垂直転送電極の短縮限界については、おおむね、実施の形態の1と同様である。すなわち、時刻 $t1$ 、 $t3$ 、 $t5$ のような2つの垂直転送電極下部に蓄積される電荷量に比べ、時刻 $t4$ のように、ローレベルVLが印加されている部分のショートチャネル効果によりポテンシャルバリアが減少する信号電荷が3つの電極の下部に蓄積される電荷量の方が大きいければ($Q1 \leq Q2$)、実施の形態の1に比べ最大転送電荷量が減少することがなく、十分な最大転送電荷量を確保することができる。

【0057】

【発明の効果】本発明によれば、請求項1に記載のように、トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の垂直転送方向の長さを隣り合う2つの垂直転送電極よりも長くすることにより、トランスファーゲート部の読み出しチャネル幅を広くすることができるので、光電変換素子から垂直CCDに信号電荷を読み出す際の読み出し完了電圧を低くすることができ、カメラの低電圧化を図ることができる。また、垂直転送電極の電極長を1つおきに同じ長さとする

ことにより、垂直転送方向に隣り合う任意の2つの垂直転送電極下部に信号電荷が蓄積された場合の蓄積電荷量を一定にすることができるため、最大転送電荷量の減少を防止することができ、大きなダイナミックレンジを確保することができる。

【0058】また、請求項2に記載のように、隣り合う任意の2つの垂直転送電極のうち短い方の垂直転送電極の長さを、垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が2つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるように設定することにより、最大転送電荷量を低下させることなく読み出し完了電圧の低減を図ることができる。

【0059】また、請求項3に記載のように、垂直転送電極のうち、トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の垂直転送方向の長さを1番長くすることにより、トランスファーゲート部の読み出しチャネル幅を更に広くすることができるので、光電変換素子から垂直CCDに信号電荷を読み出す際の読み出し完了電圧を請求項1の固体撮像装置よりも更に低くすることができる。

【0060】また、請求項4に記載のように、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の垂直転送方向の長さを1番長くした場合でも、最大転送電荷量の減少を防止することができ、大きなダイナミックレンジを確保することができる。その理由は、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極と隣り合わない垂直転送電極の長さを2番目に長くし、さらにトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極以外の電極に信号電荷転送時に印加するミドルレベルの電圧を、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極に印加するミドルレベルの電圧よりも高くすることにより、請求項1の固体撮像装置と比べて転送電荷量が減少することがないからである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態となるCCD固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す概略的平面図である。

【図2】 CCD固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す図1を拡大したより詳細な平面図である。

【図3】 図2のA-A線断面図である。

【図4】 図2のB-B線断面図である。

【図5】 垂直転送電極の電極長に対するポテンシャルバリアの依存性を求めたシミュレーション結果を示す図である。

【図6】 図1のCCD固体撮像装置における短い方の垂直転送電極の短縮限界を説明するためのポテンシャル図である。

【図7】 本発明の第2の実施の形態となるCCD固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す概略

的平面図である。

【図8】 図7のCCD固体撮像装置において、読み出し時とその直後の垂直転送期間に垂直転送電極に印加される駆動パルスの波形図である。

【図9】 図8の各時刻における信号電荷の蓄積状態と転送の様子を示すポテンシャル図である。

【図10】 従来の全画素同時読み出し方式インターライン型CCD固体撮像装置の平面図である。

【図11】 図10のCCD固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す概略的平面図である。

【図12】 CCD固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す図11を拡大したより詳細な平面図である。

【図13】 図12のA-A線断面図である。

【図14】 図11のCCD固体撮像装置において、読み出し時とその直後の垂直転送期間に垂直転送電極に印加される駆動パルスの波形図である。

【図15】 図14の各時刻における信号電荷の蓄積状態と転送の様子を示すポテンシャル図である。

【図16】 読み出しチャネル幅に対する読み出し完了電圧の依存性を求めたシミュレーション結果を示す図である。

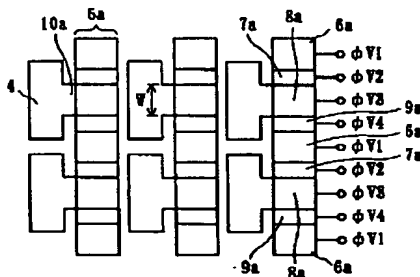
【図17】 トランスファーゲート領域の読み出しチャネル幅を広げた固体撮像装置のフォトダイオード及び垂直CCDを示す概略的平面図である。

【図18】 図17の固体撮像装置における信号電荷の蓄積状態と転送の様子を示すポテンシャル図である。

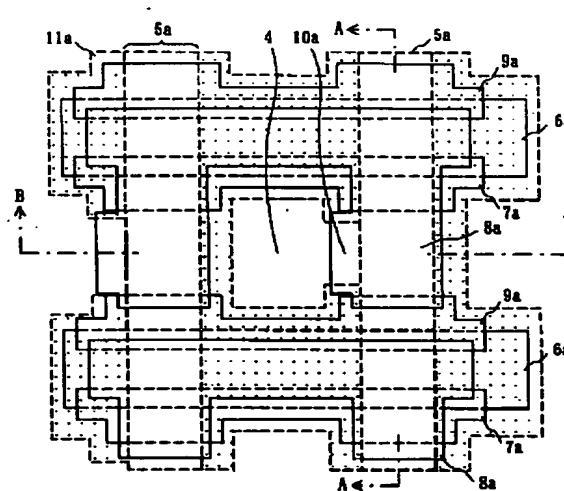
【符号の説明】

1…撮像部、2…水平CCD、3…電荷検出部、4…フォトダイオード、5a、5b…垂直CCD、6a、7a、8a、9a、6b、7b、8b、9b…垂直転送電極、10a、10b…トランスファーゲート部、11a…素子分離領域、12…半導体基板、 $\phi V1$ 、 $\phi V2$ 、 $\phi V3$ 、 $\phi V4$ …駆動パルス。

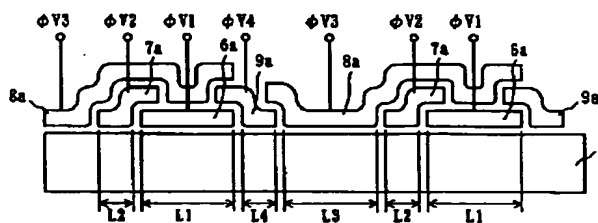
【図1】



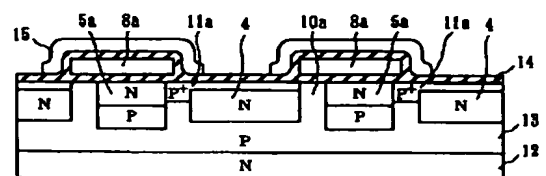
【図2】



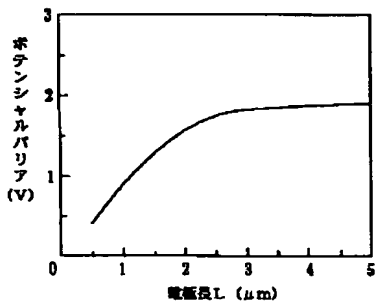
【図3】



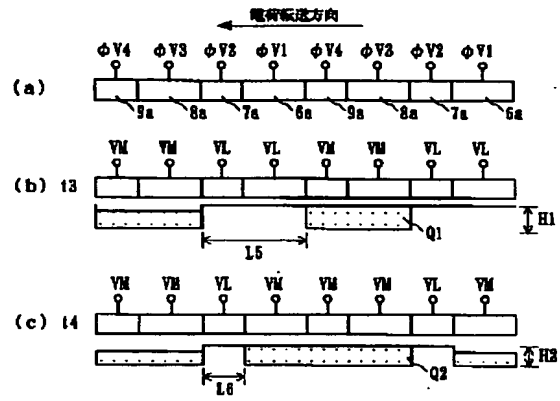
【図4】



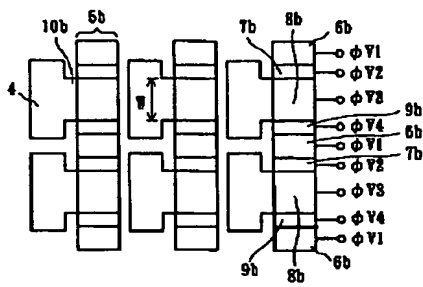
【図5】



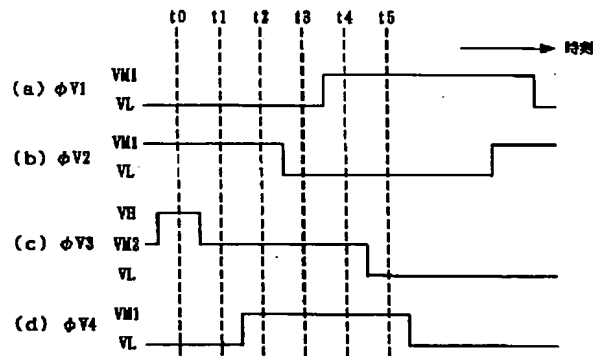
【図6】



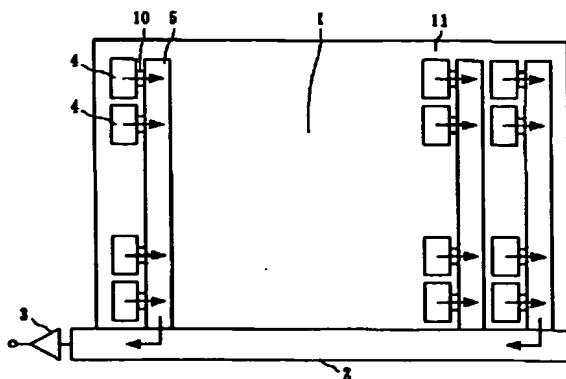
【図7】



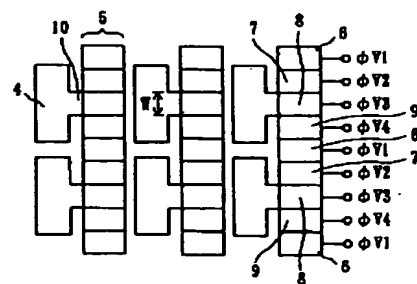
【図8】



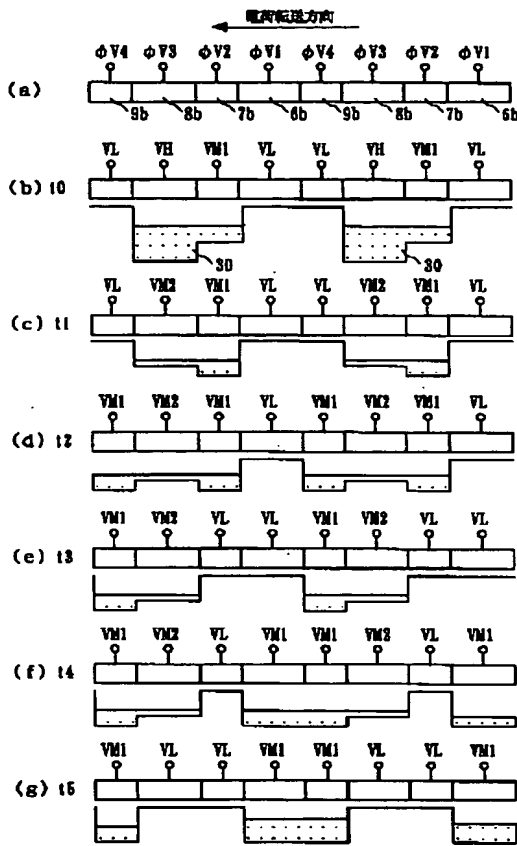
【図10】



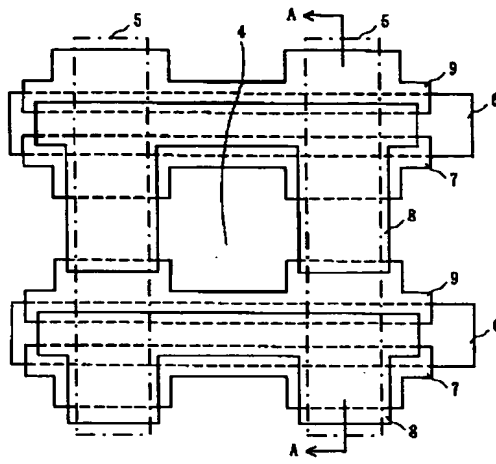
【図11】



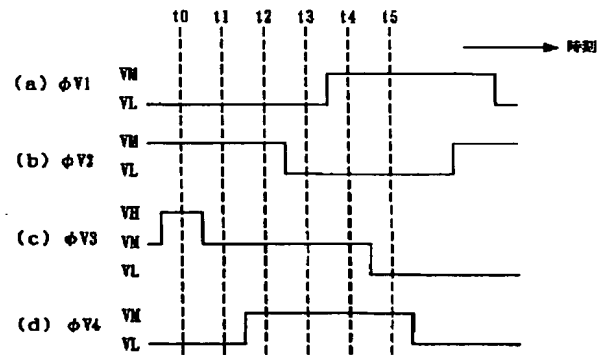
【図9】



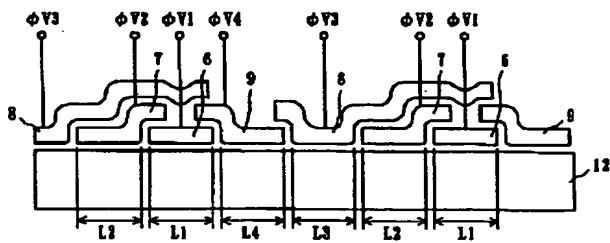
【図12】



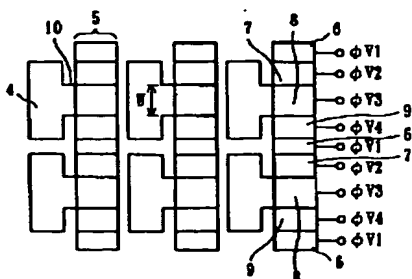
【図14】



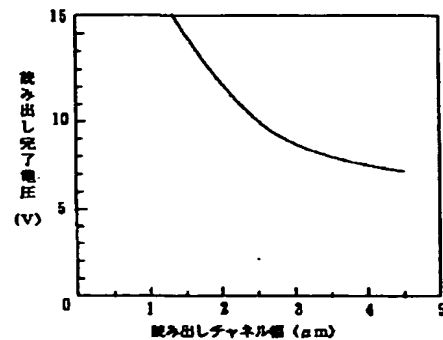
【図13】



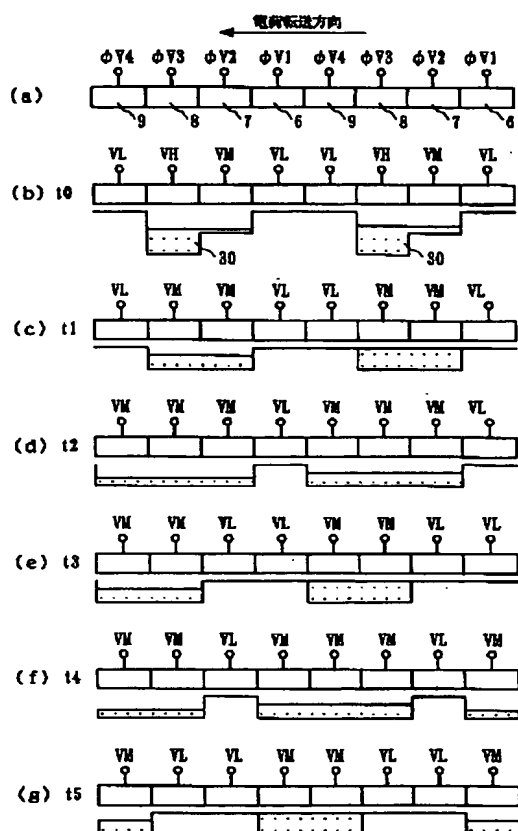
【図17】



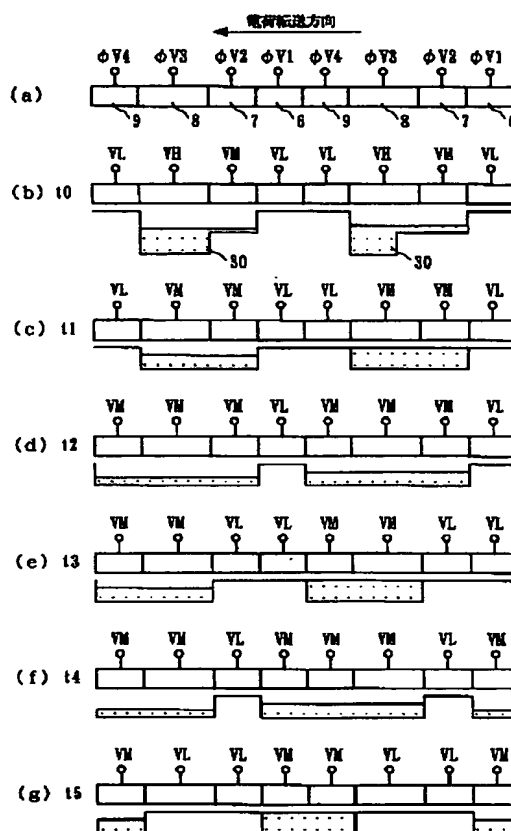
【図16】



【図15】



【図18】



【手続補正書】

【提出日】平成11年4月12日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項4

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項4】 半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、前記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCDと、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備え、前記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、これら垂直転送電極のうち、前記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の長

さが1番長く、かつ前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合わない垂直転送電極の長さが2番目に長い固体撮像装置において、第1の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極にハイレベルVH、この電極と隣り合う転送方向後方の垂直転送電極にミドルレベルVM1、その他の垂直転送電極にローレベルVLの電圧をそれぞれ印加し ($VL < VM1 < VH$)、第2の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極に印加する電圧をミドルレベルVM2に変更し ($VL < VM2 < VH$)、第3の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合う転送方向前方の垂直転送電極に印加する電圧をミドルレベルVM1に変更し、第4の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合う転送方向後方の垂直転送電極に印加する電圧をローレベルVLに変更し、第5の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合わない垂直転送電極に印加する電圧をミドルレベルVM1に変更し、第6の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極に印加する電圧をロ

ローレベルVLに変更することにより、前記光電変換素子から読み出した信号電荷を垂直方向に転送する固体撮像装置の駆動方法であって、

垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が垂直転送方向に隣り合う2つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるように、前記トランスファー電極を兼ねている電極以外の垂直転送電極に印加するミドルレベルVM1の電圧を、前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極に印加するミドルレベルVM2の電圧よりも高く設定することを特徴とする固体撮像装置の駆動方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正内容】

【0019】また、本発明は、請求項4に記載のように、半導体基板上に2次元マトリックス状に配列された光電変換素子群と、該光電変換素子に隣接し、光電変換素子に蓄積された信号電荷を後記垂直CCDに読み出すためのトランスファーゲート部と、該トランスファーゲート部に隣接し、前記光電変換素子から読み出された信号電荷を垂直方向に転送する垂直CCDと、該垂直CCDから転送された信号電荷を水平方向に転送する水平CCDと、該水平CCDから転送された信号電荷を検出し出力する電荷検出部とを備え、前記垂直CCDに読み出された信号電荷を転送するための垂直転送電極を1つの光電変換素子ごとに4つ有し、これら垂直転送電極のうち、前記トランスファーゲート部を制御するトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極の長さが1番長く、かつ前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合わない垂直転送電極の長さが2番目に長い固体撮像装置において、第1の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極にハイレベルVH、この電極と隣り合う転送方向後方の垂直転送電極にミドルレベルVM

1、その他の垂直転送電極にローレベルVLの電圧をそれぞれ印加し（ $VL < VM1 < VH$ ）、第2の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極に印加する電圧をミドルレベルVM2に変更し（ $VL < VM2 < VH$ ）、第3の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合う転送方向前方の垂直転送電極に印加する電圧をミドルレベルVM1に変更し、第4の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合う転送方向後方の垂直転送電極に印加する電圧をローレベルVLに変更し、第5の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極と隣り合わない垂直転送電極に印加する電圧をミドルレベルVM1に変更し、第6の時刻において、前記トランスファー電極を兼ねている電極に印加する電圧をローレベルVLに変更することにより、前記光電変換素子から読み出した信号電荷を垂直方向に転送する固体撮像装置の駆動方法であって、垂直転送方向に連なる3つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量が垂直転送方向に隣り合う2つの垂直転送電極下部の電位井戸に蓄積できる最大電荷量以上となるように、前記トランスファー電極を兼ねている電極以外の垂直転送電極に印加するミドルレベルVM1の電圧を、前記トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極に印加するミドルレベルVM2の電圧よりも高く設定したものである。1つの光電変換素子に対する4つの垂直転送電極に関して、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極（8b）の垂直転送方向の長さを1番長くすると、これ以外の垂直転送電極（6b、7b、9b）の長さが短くなってしまう。そこで、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極と隣り合わない垂直転送電極（6b）の長さを2番目に長くし、さらにトランスファー電極を兼ねている垂直転送電極以外の電極に信号電荷転送時に印加するミドルレベル（VM1）の電圧を、トランスファー電極を兼ねている垂直転送電極に印加するミドルレベルの電圧（VM2）よりも高くすることにより、垂直最大転送電荷量の減少を防止できる。